

## 携帯電話基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討

伊藤 和也, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科),  
井上 真豪 (日立国際八木ソリューションズ(株) 製品設計本部)

概要: 携帯電話基地局アンテナの設置スペースを削減するために, 多周波共用アンテナ技術が有効である. 筆者らは携帯電話基地局用多周波共用アンテナ素子として, テーパースロットアンテナ (Tapered Slot Antenna; TSA) を用いた 3 周波共用アンテナを過去に提案したが, 3 つの周波数帯で所望の指向性を満たすことが困難であるという問題点があった. 本報告では, 反射板付 TSA にスリットを切った新たな構造の 3 周波共用アンテナを提案する. 提案アンテナが 3 周波数帯に亘って携帯電話基地局アンテナに要求される所望の指向性を満足することが可能なことを示す.

キーワード: 基地局アンテナ, テーパースロットアンテナ, 多周波共用, 指向性

### 1. まえがき

近年の移動通信では, 高速化のための移動通信システムの開発が絶え間なく行われてきており, それに伴い移動通信サービスの多帯域化が進んでいる. 一方で, 市街地においては基地局アンテナの設置空間が逼迫しており, 設置するアンテナを小型化することが求められている. また, 基地局は鉄塔上, ビルの屋上などの場所に建設されるため, 景観や耐風圧荷重の観点でも基地局アンテナの小型化は重要である.

このような小型化の要求に応えるため, 複数の周波数帯を 1 本のアンテナでカバーできる多周波共用アンテナを使用することが有効である. 多周波共用アンテナの設計手法としては, 周波数帯の数に対応する多素子構造を用いるものが一般的であり [1], これまで, 0.9/1.5 GHz 帯用ダイポール素子と 2GHz 帯用ダイポール素子のそれぞれに無給電素子を取り付けた 3 周波共用基地局アンテナ [2] や, 1 本の放射素子の近傍に複数の無給電素子を配置した 3 周波共用基地局アンテナ [3] が提案されている. しかしながら, これらの手法は周波数帯ごとにアンテナ素子あるいは無給電素子を用意し, 多共振により多周波共用を実現する手法であるため, 各周波数帯の素子間の相互結合が問題となる. 次世代移動通信システムの開始により, 基地局アンテナにはさらに多くの周波数帯をカバーすることが求められるようになり, 多素子構造による手法では設計が困難となると考えられる. そこで, 基地局アンテナ素子として広帯域アンテナを用い, アンテナ素子の広帯域性を利用して複数の周波数帯をカバーすることが有効であると考えている.

筆者らは, 広帯域アンテナ素子としてテーパースロットアンテナ (Tapered Slot Antenna; TSA) を用い, TSA と八木・宇田アンテナの組み合わせにより 900 MHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯の 4 周波共用基地局アンテナを設計することを目指している. 提案する基地局アンテナは, 八木・宇田アンテナが 900 MHz 帯で動作し, TSA が 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯の 3 周波数帯を共用す

ることを想定しており, これまでに 900 MHz 帯用八木・宇田アンテナの設計について報告してきた [4].

本報告では, 実現を目指す 4 周波共用基地局アンテナのうち, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の設計について述べる. TSA は広帯域アンテナの一種として知られており, 薄型軽量, 低コスト, 量産が容易といった特徴を持つため, 多周波共用基地局アンテナ用素子として有望であると考えている. TSA を携帯電話基地局用多周波共用アンテナ用素子として使用する場合, 複数の使用周波数帯に亘って所望の指向性 (一定のビーム半値幅, 高い前後比) を満たす必要がある. 筆者らは, 多周波共用基地局アンテナ用 TSA として, 楕円形 TSA 後方に円筒反射板を配置した構造を過去に提案したが, 使用周波数帯すべてにおいて所望の指向性を満たすことが困難であるという問題点があった [5][6]. また, TSA の設計に関する報告は過去に多数あるが [7][8], それらの多くはインピーダンス特性の広帯域化に着目したものであり, 携帯電話基地局アンテナ用素子に要求されるような指向性の広帯域化に着目した設計例は少ない. そこで本報告では, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz の 3 周波数帯に亘って所望の指向性を満たすような TSA の設計を目的とし, 反射板付 TSA に 2 対のスリットを切った構造を提案する. 提案する TSA が, スリットを切ることにより, 3 つの使用周波数帯に亘って基地局アンテナに適した指向性のビームを形成し, 所望の半値幅および前後比を満足することを示す.

### 2. 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の構造

図 1 に, 提案する 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の構造を示す. TSA の後方に反射板を配置した構造である. 設計する基地局アンテナは内径 200 mm の円筒状レドームに収納する必要があり, アンテナの設計はこのサイズ制限による制約を受ける. そこで, レドーム内の空間をできる限り有効に利用するため, TSA の形状をレドーム形状に合わせて半径  $R_x, R_y$  の楕円形とした. また, TSA の給電部後方は幅  $w_s$ , 長さ  $l_s$  の短絡スロット線路としているが, 省スペース化のためこのスロット線路を反射板により直接短絡している. TSA のテーパー部分は開口幅を  $W$  とし, テーパー部分の形状を指数関数形としている. 指数関数の形状  $f(x)$  は, テーパーの始点座標  $(x_1, y_1)$  と終点座標  $(x_2, y_2)$  を用いて次式で表わされる.

$$f(x) = c_1 \exp(Rz) + c_2 \quad (1)$$

ここで,

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{\exp(Rx_2) - \exp(Rx_1)} \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{y_1 \exp(Rx_2) - y_2 \exp(Rx_1)}{\exp(Rx_2) - \exp(Rx_1)} \quad (3)$$

である．また， $R$  は開口比といい，指数関数の急峻さを表すパラメータである． $R$  が大きいほどテーパ部分は急なカーブを描く．

また，TSA の両端部には 2 対のスリットを切っており，これにより指向性パターンの電力半値幅を所望の範囲に収め，前後比を高くすることをねらっている．スリットを切ることで，TSA 両端部を流れる電流の  $x$  成分が抑制されるため，不要な方向への放射が抑えられ，指向性の改善がなされるものと考えられる [9]．2 対のスリットの TSA 後端からの距離をそれぞれ  $x_{slit1}, x_{slit2}$  とし，スリットの深さをそれぞれ  $l_{slit1}, l_{slit2}$  とする．

TSA の後方には，後方への放射を抑圧するために反射板を配置しているが，反射板の形状を中央の主反射板および両側面の副反射板からなる構造とした．副反射板はさらに 2 つに分け，レドームの形状に沿うように構成し，スペースの有効利用を図っている．主反射板幅を  $w_{r1}$  とし，2 つの副反射板幅をそれぞれ  $w_{r2}$  および  $w_{r3}$ ，2 つの副反射板の開き角をそれぞれ  $\alpha_1$  および  $\alpha_2$  とした．以降， $w_{r2}$  からなる副反射板を副反射板 1， $w_{r3}$  からなる副反射板を副反射板 2 と称する．

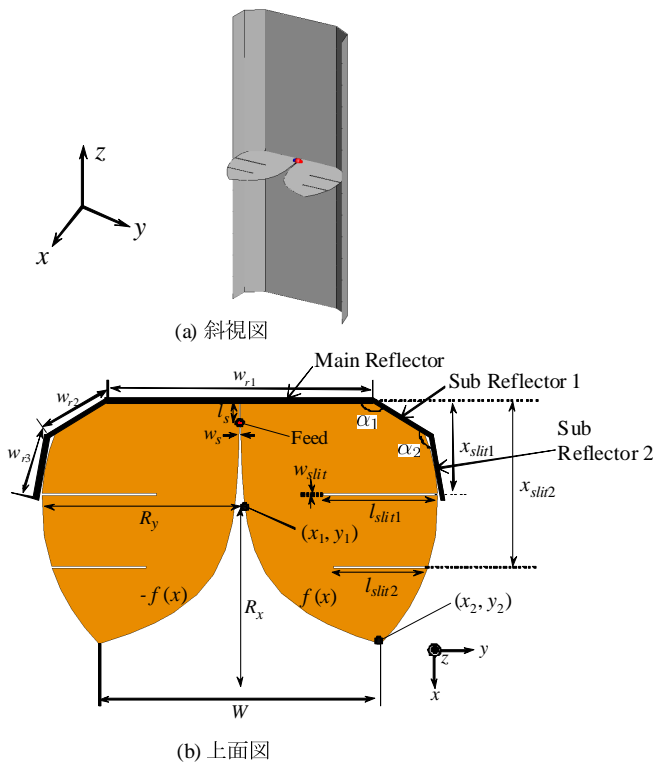


図 1: 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の構造

以上の構造について，各種パラメータに対する指向性の変化を数値シミュレーションにより調べ，所望の指向

性を満たすべく，構造パラメータの設計を行った．数値シミュレーションは電磁界解析ソフト (FEKO) を用い，モーメント法により行った．

設計する 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用アンテナ素子の指向性の設計目標値を表 1 に示す．提案する基地局アンテナは 6 セクタ用のアンテナであるため，水平面における半値幅の設計目標は  $60 - 70^\circ$  の範囲とする．また，前後比については，前方 ( $0^\circ$ ) の放射と  $180^\circ \pm 30^\circ$  の範囲における最大放射との比として定義し，その設計目標を 20 dB 以上とする．TSA 素子は 1 素子で 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯を共用するため，上記の指向性の目標値を 3 周波数帯すべてで同時に満たす必要がある．

表 1: アンテナ設計目標

Frequency Bands	1.5/2/2.4 GHz
Number of Sectors	6
Beamwidth	$60 - 70^\circ$
Front to Back Ratio	$\geq 20$ dB

### 3. 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の設計

#### 3.1 スリットのない TSA の指向性

本節では，図 1 において，スリットを切っていない場合 ( $l_{slit1} = l_{slit2} = 0$ ) について述べる．

初めに，副反射板 2 がない場合，すなわち  $w_{r3} = 0$  の場合において，図 1 の各構造パラメータを調整し，3 周波数帯に亘って最もよい指向性が得られるようなパラメータの組み合わせを探した．その結果として，半値幅および前後比が設計目標に最も近づいたときの 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz における水平面指向性利得パターンを図 2, 図 3, 図 4 にそれぞれ示す．また，このときの各構造パラメータを図中に示している．さらに，このときの各周波数における半値幅，前後比の計算値を表 2 に示す．結果より，1.5 GHz, 2 GHz の半値幅が設計目標を満足している一方で，2.4 GHz の半値幅は目標値よりも狭くなっていることがわかる．また，前後比については 3 周波数帯の全てで設計目標を下回っており，後方への放射を抑えられるような構造の検討が必要であることがわかる．

表 2: スリットのない TSA の半値幅および前後比の計算結果

Frequency [GHz]	Half Beamwidth [deg.]	F/B [dB]
1.5	69.7	13.9
2	69.6	12.6
2.4	50.2	17.3

つぎに，後方への放射を抑え，前後比を改善する目的で，新たに副反射板 2 を追加した構造を検討する．副反

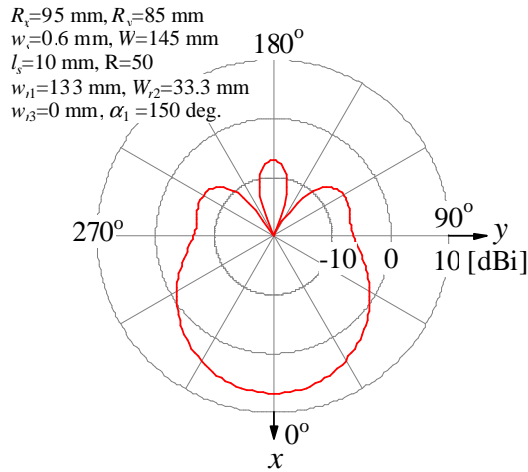


図 2: スリットのない TSA の指向性利得パターン (1.5 GHz)

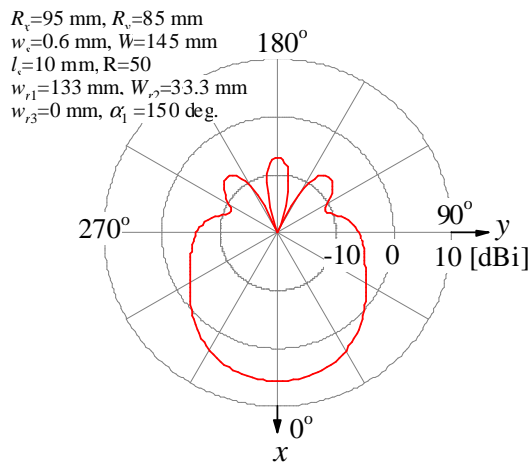


図 3: スリットのない TSA の指向性利得パターン (2 GHz)

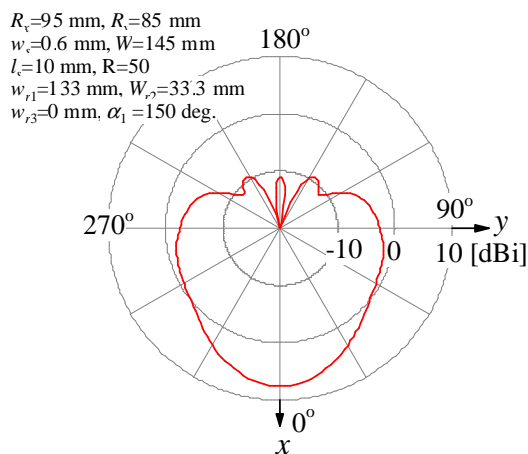


図 4: スリットのない TSA の指向性利得パターン (2.4 GHz)

射板 2 を含めた反射板の構造は、図 1 に示すように、円筒状のレドーム形状に沿うような構造とし、スペースの有効利用を図っている。

副反射板 2 の開き角  $\alpha_2 = 130^\circ$  に固定し、副反射板 2 の幅  $w_{r3}$  を 0 ~ 30mm の範囲で変化させたときの半値幅および前後比の変化を図 5、図 6 にそれぞれ示す。図 5 より、各周波数における半値幅は  $w_{r3}$  が変化するにつれて緩やかに変化し、副反射板 2 の設置により大きく影響を受けることはないと分かる。また、図 6 より、3 周波数のいずれにおいても、副反射板 2 の設置により前後比が数 dB 改善されていることがわかる。 $w_{r3} = 0 \text{ mm}$  の場合と  $w_{r3} = 30 \text{ mm}$  の場合の前後比を比較すると、1.5 GHz では 14.0 dB から 16.3 dB に、2 GHz では 12.8 dB から 16.6 dB に、2.4 GHz では 16.5 dB から 17.1 dB に、それぞれ改善効果が得られた。しかしながら、設計目標値の 20 dB 以上にはまだ達しておらず、さらなる改善が必要である。さらに、図 5 からわかるように、半値幅についても 3 周波数帯すべてで目標値の  $60 - 70^\circ$  の範囲に収めることはできておらず、所望の周波数における半値幅を調整できるような構造の追加が必要である。これらの問題点は、次節で示すようにスリットの装荷により改善する。

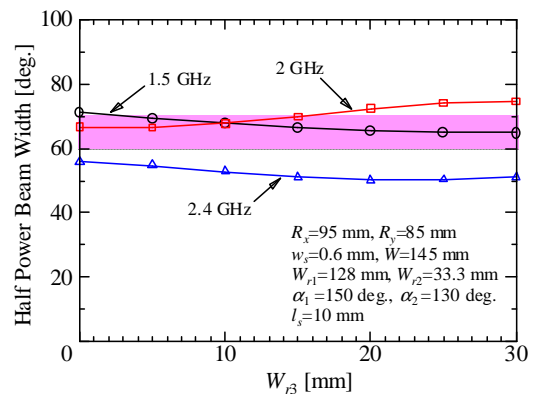


図 5: 副反射板 2 の幅  $w_{r3}$  に対する半値幅の変化

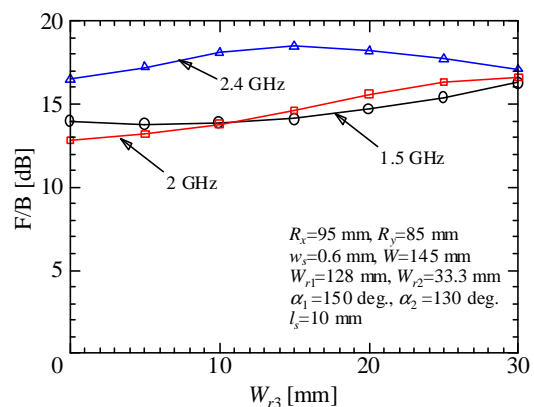


図 6: 副反射板 2 の幅  $w_{r3}$  に対する前後比の変化

### 3.2 スリットの装荷による指向性の改善

本節では、図 1 に示すように、TSA 両端にスリットを切った構造を検討し、前節の構造では達成できなかった半値幅および前後比の設計目標を満足することを目指す。

はじめに、図 1 において、スリットを 1 対のみ切った場合、すなわち  $l_{slit2} = 0$  の場合を検討し、スリットの構造パラメータの変化が指向性に与える影響を調べる。スリットの構造パラメータにはスリット位置  $x_{slit1}$  とスリット深さ  $l_{slit1}$  があるが、ここでは  $x_{slit1} = 55\text{mm}$  に固定し、 $l_{slit1}$  を  $0 \sim 40\text{mm}$  の範囲で変化させたときの半値幅および前後比の変化を図 7、図 8 にそれぞれ示す。図 7 より、2 GHz および 2.4 GHz の半値幅は  $l_{slit1}$  の値によって変化し、 $l_{slit1}$  の値によって特定の周波数の半値幅を広くする、あるいは狭くすることが可能であることがわかる。ただし、1 対のスリットを切った構造においては 3 周波数帯で同時に半値幅を設計目標の範囲に収めることができていない。3 周波数帯で同時に設計目標を満たすには、後述するようにさらに新たなスリットを切り、最適な構造パラメータの組み合わせを探す必要がある。なお、図 7 では 1.5 GHz の半値幅が変化を示していないが、これは図中に示した  $l_{slit1}$  の値の範囲ではスリット深さが 1.5 GHz の波長に対して電氣的に小さすぎるためであり、さらに  $l_{slit1}$  の値を大きくしていくと 1.5 GHz の半値幅も変化を示すことを確認している。つぎに図 8 についても、各周波数帯の前後比がスリットの装荷により影響を受けており、全体的に改善傾向を示していることがわかる。いずれの周波数においても、 $l_{slit1}$  が特定の値のときに設計目標を上回ることができている。しかしながら、半値幅と同様に 3 周波数帯で同時に設計目標を達成することができおらず、後述するようにさらに新たなスリットを切るという検討が必要となる。

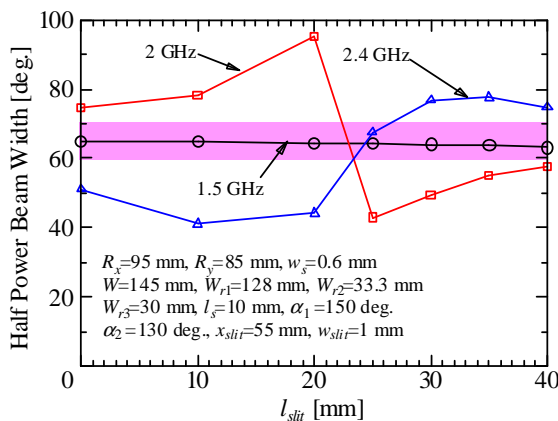


図 7: スリット深さ  $l_{slit1}$  に対する半値幅の変化

つぎに、さらにもう 1 対のスリットを切った場合、すなわち図 1 において  $l_{slit2} \neq 0$  の場合について検討する。3 周波数帯全てで所望の半値幅、前後比を満たすべく、2 対のスリットの各構造パラメータ  $x_{slit1}, x_{slit2}, l_{slit1}, l_{slit2}$  を変化させ、最適なパラメータの組み合わせを探した。結

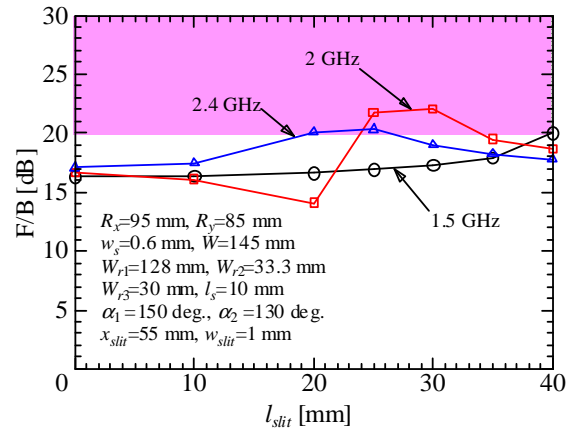


図 8: スリット深さ  $l_{slit1}$  に対する前後比の変化

果として、最もよい指向性が得られたときの 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz における水平面指向性利得パターンを図 9, 図 10, 図 11 にそれぞれ示す。また、このときの各構造パラメータを図中に示している。なお、半値幅と前後比を目標値に収めるために、スリットのパラメータ以外にもいくつかの構造パラメータを調整している。さらに、各周波数における半値幅、前後比の値を表 3 に示している。図 9, 図 10, 図 11 は、いずれも基地局アンテナに適したセクタビームを形成しており、またスリットなしの場合(図 2, 図 3, 図 4)と比較してもより高い前後比が実現されていることがわかる。さらに表 3 より、設計した TSA は 3 周波数帯の全てで半値幅、前後比両方の設計目標を満たしており、反射板付 TSA に 2 対のスリットを切った構造により、1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz の 3 周波数帯に亘って、基地局アンテナに要求される指向性を実現できることが示された。

表 3: スリット付 TSA の半値幅および前後比の計算結果

Frequency [GHz]	Half Beamwidth [deg.]	F/B [dB]
1.5	66.7	26.1
2	63.3	21.7
2.4	69.8	21.7

### 4. むすび

携帯電話基地局用アンテナ素子として、1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の設計を行った。反射板付 TSA に 2 対のスリットを切った構造を提案し、提案アンテナが 3 周波数帯に亘って基地局アンテナに適したセクタビームを形成し、指向性の設計目標を満足することを示した。

参考文献

- [1] 長 敬三, 山口 良, 蔣 惠玲, “次世代移動通信システム実現に向けた基地局・端末アンテナ技術,” 信学論 (B), Vol. J91-B, No. 9, pp. 886 - 900, Sep. 2008.
- [2] 杉本 由紀, 恵比根 佳雄, “移動通信における 60 ° と 120 ° ビーム幅を有する 3 周波共用基地局アンテナ,” 信学技報, A・P99-47, pp. 35 - 42, 1999 年 7 月 .
- [3] 大嶺 裕幸, 深沢 徹, 宮下 和仁, 茶谷 嘉之, “複数の非励振素子で広帯域化を図った 3 周波数共用ダイポールアンテナ,” 電子情報通信学会技術研究報告, A・P2000-6, pp. 37 - 42, 2000 年 4 月 .
- [4] K. Itoh, Q. Chen, and K. Tanaka, “Design of Yagi-Uda Antenna in 900 MHz Band for Multi-Band Base Station Antenna,” 平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2A06, 2013 年 8 月 .
- [5] 陳 強, 清野 慎介, 澤谷 邦男, 田中 健, “移動通信基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討,” 信学技報, A・P2012-44, pp. 81 - 84, 2012 年 7 月 .
- [6] 伊藤 和也, 陳 強, 澤谷 邦男, 田中 健, “携帯電話基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討,” 2013 年電子情報通信学会総合大会, B-1-100, 2013 年 3 月 .
- [7] P. J. Gibson, “The Vivaldi Aerial,” Proc. 9th Eur. Microwave Conf., Brighton, U.K., pp.101-105, June 1979.
- [8] D. H. Schaubert, E. L. Kollberg, T. L. Korzeniowski, T. Thungren, J. F. Johansson, and K. S. Yngvesson, “Endfire tapered slot antennas on dielectric substrates,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.33, pp. 1392 - 1400, Dec. 1985.
- [9] C. J. Wang, and D. L. Sun, “Design of a microstrip monopole slot antenna with unidirectional radiation characteristics,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.59, pp. 1389 - 1393, Apr. 2011.

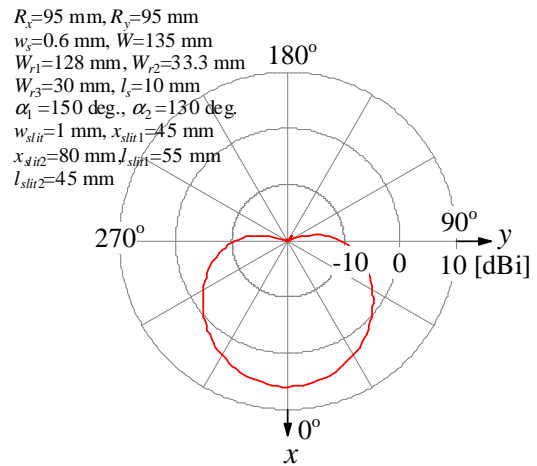


図 9: スリット付 TSA の指向性利得パターン (1.5 GHz)

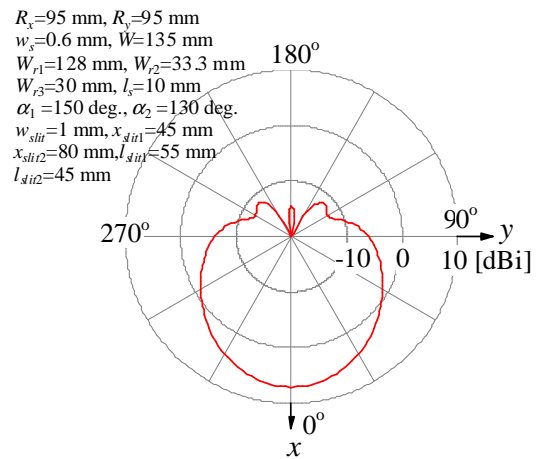


図 10: スリット付 TSA の指向性利得パターン (2 GHz)

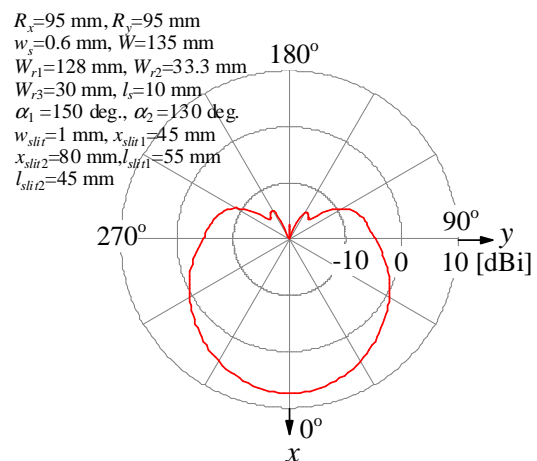


図 11: スリット付 TSA の指向性利得パターン (2.4 GHz)